

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2004 年12 月29 日 (29.12.2004)

PCT

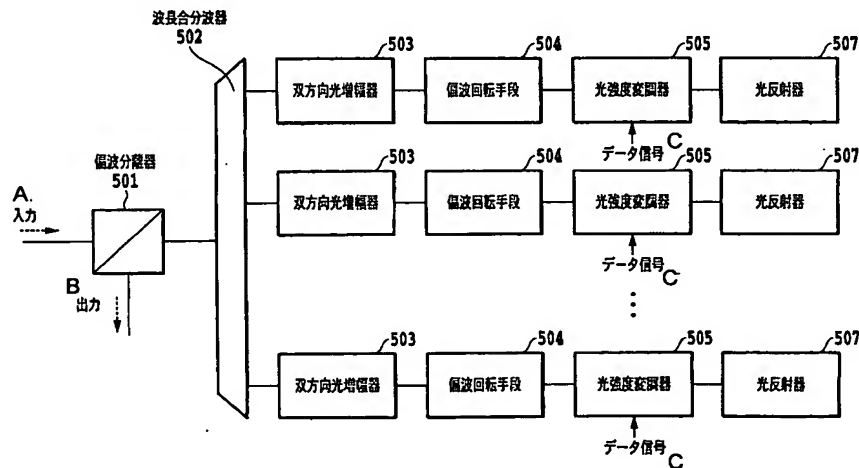
(10) 国際公開番号  
WO 2004/113998 A1

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: G02F 1/01
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/008762
- (22) 国際出願日: 2004 年6 月16 日 (16.06.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願2003-174499 2003 年6 月19 日 (19.06.2003) JP  
特願2003-174491 2003 年6 月19 日 (19.06.2003) JP  
特願2003-195735 2003 年7 月11 日 (11.07.2003) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町2丁目3-1 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および  
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 藤原 正満 (FUJIWARA, Masamichi) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 可児 淳一 (KANI, Junichi) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 秋本 浩司 (AKIMOTO, Koji) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 岩月 勝美 (IWATSUKI, Katsumi) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 谷 義一 (TANI, Yoshikazu); 〒1070052 東京都港区赤坂2丁目6-20 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL MODULATING DEVICE

(54) 発明の名称: 光変調装置

A...INPUT  
B...OUTPUT  
C...DATA SIGNAL501...POLARIZED WAVE SEPARATOR  
502...WAVELENGTH MULTIPLEXER/DEMUTIPLEXER  
503...BIDIRECTIONAL OPTICAL AMPLIFIER  
504...POLARIZATION ROTATION MEANS  
505...LIGHT-INTENSITY MODULATOR  
507...OPTICAL REFLECTOR

(57) Abstract: A reflection optical modulator including a bidirectional optical amplifier, or a multi-wavelength simultaneous optical modulating device composed by combining reflection optical modulators. BY numerically limiting the relation between the gain of the bidirectional optical amplifier and the loss of the optical modulators

[続葉有]



DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG,

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

or by inserting polarization rotating means, the influence of the light reflected at the ends of the bidirectional optical amplifier is lessened, and a stable amplifying function is realized. A transmission optical modulator including semiconductor optical amplifiers (SOAs) connected in multiple stages is also disclosed. Optical isolators are inserted every other SOAs. Thus, the influence of the reflected light is lessened, and a stable amplifying function and reduction of the cost are both realized.

(57) 要約: 双方向光増幅器を含む反射型の光変調器、またはその光変調器を複数組み合わせた多波長一括光調装置に対して、双方向光増幅器の利得と光変調器の損失の関係を数値限定し、または偏波回転手段を挿入することにより、双方向光増幅器の端面における反射光の影響を低減し安定した増幅機能を実現した光変調装置が提供される。多段に接続した複数の半導体光増幅器(SOA)を含む透過型の光変調装置に対して、それらSOAの1つおきに光アイソレータを挿入することにより、反射光の影響を低減し安定した増幅機能とコストの低減とを同時に実現した光変調装置が提供される。

## 明 細 書

## 光変調装置

## 5 技術分野

本発明は、光通信に利用する光変調装置に関し、特に、半導体光増幅器のような光増幅器と光強度変調器とを組み合わせる構成される光変調装置の構成技術に関する。

## 10 背景技術

従来から、光短パルスレーザ、あるいは振幅変調/位相変調により生成した複数の光搬送波を含む多波長光を、波長多重（WDM：Wavelength Division Multiplexing）信号伝送に用いる方式が検討されてきた。このような多波長光は、各サイドモードのスペクトル間隔がすべて等しく、サイドモードを波長分離して得られるチャンネルはすべて等しい波長間隔になる。従って、このような多波長光は、

15 チャンネルごとに個別のレーザを用意してチャンネルごとに波長を設定する方法による多波長光よりも、波長配置に関して簡便である。

多波長光を用いたWDM信号伝送システムを実現する上で、光変調回路構成の簡易化、および経済化が重要な課題の一つである。FIG. 1に、従来の光変調回路

20 の構成を示す。多波長光源101から発生した多波長光は、波長分波器103により波長分波された後、各々の光強度変調器105で変調され、波長合波器107により再度合波される。FIG. 1に示す構成では、透過中心波長の絶対値の等しい2つの波長合分波器103、107が必要であることから、FIG. 2に示すような、1つの波長合分波器207と、1つあるいは複数の光強度変調器209と、この光強度変調器の個数に等しい反射鏡211とで構成した光変調装置が提案されている（特開2002-318374号公報参照）。

25

FIG. 2に示す光変調装置では、光入力手段201の入力ポート203から入

力した多波長光は、入出力ポート 205 を通って波長分波器 207 により波長分波された後、各々の光強度変調器 209 で変調され、光反射器 211 で反射されて、もとの光路を戻り、再び波長合波器 207 により再度合波され、入出力手段 201 の出力ポート 213 から出力される。この装置構成によれば、1 つの波長合分波器  
5 207 だけで構成できるので、波長合分波器の透過中心波長合わせが容易となり、かつ装置コストの削減が可能となる。

F I G. 1 および F I G. 2 のいずれにおいても、各波長の光パワーは、波長合分波器などの使用される光デバイスの損失によって減少する。また、多波長光源と光変調器が物理的に離れた位置にあるシステムでは、その間を結合する光ファイバ  
10 伝送路の損失が無視できなくなる。WDM 信号パワーの低下は、信号対雑音比 (S N R : Signal-to-Noise Ratio) の悪化を招くため、F I G. 1 の 109、あるいは F I G. 2 の 215 に示すような光増幅器を用いてパワーを増幅する必要がある。

F I G. 1 および F I G. 2 には、多波長光の波長域をすべてカバーする広帯域の光増幅器を用いて、WDM 信号パワーを一括して増幅する例が開示されている  
15 (特開 2003-18853 号公報参照)。この例では、波長多重された変調光の偏波に依存せずに、その光強度を増幅する偏波無依存光増幅器が用いられている。このような光増幅器には、エルビウム (E r) 添加光ファイバ増幅器 (E D F A : Erbium Doped Fiber Amplifier) などの光ファイバ増幅器が用いられるのが一般的である。E D F A は、石英ガラス光ファイバのコア部分にエルビウムイオン  $E r^{3+}$   
20 を添加することにより、そのイオンの固有な遷移での誘導放出を用いて、光ファイバ内を進行する光を増幅させる光増幅器である。一方、光通信に用いられる光増幅器として、半導体光増幅器 (S O A : Semiconductor Optical Amplifier) が開発されている。S O A は、半導体レーザの共振器端面を低反射化することにより、半導体内の活性層を進行する光を誘導放出により増幅させる光増幅器である。

25 上記のいずれの光増幅器も利得帯域は 30 nm 以上と広帯域であるが、励起準位にあるキャリアの寿命時間が大きく異なる。E D F A は、複数の離散的な励起エネルギー準位からの遷移により利得広がり形成されるため、キャリア寿命時間は m

s (ミリ秒) オーダと長く、利得広がり是不均一となる。一方、SOAは、キャリア寿命時間はns (ナノ秒) オーダと短く、利得広がりは一とみなせる。通常、光増幅器は、高出力を得るために利得の飽和領域において動作される。利得の飽和領域において、複数の異なる信号波長を増幅する場合、利得広がり均一な光増幅器では、各々の波長が利得の奪い合いを行い、チャンネル間のクロストークが生じて信号波形が劣化する。従って、WDM信号を一括して増幅する場合には、上述のようにEDFAなどの光ファイバ増幅器が用いられるのが一般的である。しかしながら、半導体を注入電流により励起させるSOAと、励起光を出力する半導体レーザ、エルビウムなどを添加した添加物光ファイバ、励起光を添加物光ファイバに結合する結合器から構成されるEDFAとを比較すると、SOAが部品点数の観点から遙かに経済的であると言える。特に、1信号波長を増幅する場合にはSOAの方が適している。

光ファイバ増幅器を用いてWDM信号を一括して増幅するには、波長合分波器、光強度変調器などの光構成部品で生ずる光の損失を補うため、光増幅器の高出力化が必須である。しかしながら、多波長光の波長域をすべてカバーする広帯域、かつ高出力の光増幅器は、たとえ一つでも非常に高価である。従って、要求される波長帯域と出力によっては、各波長をSOAによって個別に増幅する構成の方が、光ファイバ増幅器を用いる構成よりも、より廉価に光変調回路を実現できる場合がある。

さらにSOAは、以下のような利点もある。

- ・SOAは注入電流を変調信号に応じて変化させることにより、変調器として利用可能である。
- ・SOAは電界吸収型変調器(EA変調器: Electro Absorption 変調器)などと集積化が可能である。

次に、SOAを利用した光変調装置の典型的な構成例について説明する。

(従来例1)

FIG. 1に示す光強度変調器105に利用可能な従来の光変調装置の構成例を従来例1としてFIG. 3に示す。従来例1の装置は、SOAを変調器306とし

て利用し、光変調装置 303 が光源と離れた位置にある場合を想定して図示されている。SOA の変調器 306 の両端は、光信号が入力される入力伝送路 301、および、光信号が出力される出力伝送路 309 に結合される。しかしながら、これら入出力伝送路内には、図示していないが、光フィルタ、光カプラなどの各種光デバイスや、光コネクタ、スプライス (splice) などが含まれ、またこの図では省略されているが、入出力伝送路 301 と SOA の変調器 306 の間には波長合分波器が挿入されており、それら構成部品はすべて反射点となる。これらの反射点が SOA の光増幅部 306 の両端側に存在するわけであるから、これらの反射点と SOA で光共振器を成すことになり、その結果 SOA の動作が不安定になることもあると考えられる。この不都合を防ぐためには、FIG. 3 に示すように、SOA の両端には単一方向の光のみを透過させる光アイソレータ 305、306 が挿入される。

(従来例 2)

FIG. 2 の光変調回路に適用される従来の光変調装置の構成例を従来例 2 として FIG. 4 に示す。FIG. 4 には 2 つのタイプの光変調装置 405、407 の構成が示されている。一つのタイプの光変調装置 405 は、波長合分波器 403 で分波された連続光の光パワーを双方向光増幅器 409 において増幅し、光強度変調器 411 に入力してデータ信号により強度変調して変調光とした後、光反射器 413 により反射させて、光強度変調器 411、双方向光増幅器 409 を再度通過させる構成である。もう一つのタイプの光変調装置 407 は、波長合分波器 403 で分波された連続光の光パワーを双方向光増幅器 415 において増幅し、光サーキュレータ 417 を用いてつくられた光ループに入力して、この光ループ内に配置された光強度変調器 419 においてデータ信号により強度変調して変調光とした後、光サーキュレータ 417 を経て、双方向光増幅器 415 を再度通過する構成である。前者の光変調装置 405 においては、光反射器 413 を、光強度変調器 411 とは別体の単品としてもよいし、光強度変調器 411 の端面に貼り付けて一体化した構成のものとしてもよい。

FIG. 4 の構成で用いられる双方向増幅器 409、415 は、1 波長の増幅を

行えばよいのでSOAが適当である。しかし、SOAを双方向光増幅器409、415として用いると、利得の飽和領域において連続光と変調光の間の利得の奪い合いが信号劣化を引き起こす。つまり、光増幅器409、415の内部において連続光が変調光の信号パターンにより変調されることになる。

- 5     そのため、FIG. 5に示すように、連続光と変調光の双方向光増幅器409、415からの出力パワーの和(もしくは入力パワーの和)が、ある出力パワー(もしくは入力パワー)以下において、利得が一定に保たれる利得の未飽和領域で使用されることが望ましい。

(解決すべき課題)

- 10     FIG. 3で示された従来例1の構成では、SOA306の両端に光アイソレータ305、307を挿入しても、SOA素子そのものの端面反射の問題が残る。通常、SOA306の端面に無反射コートを施すことにより、端面反射率は低減化されており、一般にこの端面反射率の値は、伝送路反射の反射率の値などよりも小さい。しかしながら、SOA306の利得が大きいと、光変調装置303は共振器と
- 15     としての効果が大きくなり、増幅動作が不安定になる。つまり、端面反射率の値は、SOAに許容する利得の大きさを制限することになる。したがって、SOAにより高利得増幅を実現するには、例えばFIG. 6に示すように、SOAを多段に接続する必要がある。

- 20     SOAの多段に接続する構成として、SOA+EA変調器(EA変調器については後述)のカスケード構成を2段に接続したものが提案されている(参考文献1: Ohman, F.; Bischoff, S.; Tromborg, B.; Mork, J.; "Noise properties and cascadability of SOA-EA regenerators", Lasers and Electro-Optics Society, 2002. LEOS 2002. The 15th Annual Meeting of the IEEE, Volume: 2, 2002 Page(s): 895 -896)。SOAを多段にした場合に、光反射の影響を最小限にするためには、
- 25     FIG. 6に示すように多段に接続したすべてのSOAの入出力端に光アイソレータを挿入すればよいが、コストの観点から望ましとは言えない。また、参考文献1では、光アイソレータの挿入についての記述は一切ない。

また、F I G. 4 に示した従来例 2 の構成では、双方向光増幅器 (S O A) 4 0 9、  
4 1 5 の両端における反射光 1 と反射光 2 が存在する。双方向光増幅器 4 0 9、4  
1 5 の端面は無反射コートにより低反射化されているとはいえ、その端面反射の前  
後にその反射光のパワーが増幅されるために、その反射光の値は大きく、その反射  
5 光は信号光と干渉して雑音になる。なお、反射光 1、反射光 2 については、後述の  
F I G. 8 に関する説明で詳しく述べる。

### 発明の開示

本発明は、上述の課題を解決するためになされたもので、その目的は、光増幅器  
10 を多段に接続構成した光変調装置、ないしは光増幅器を双方向光増幅器として含む  
光変調装置において、光増幅器の内部を通過する反射の影響を考慮したデバイス仕  
様設計、デバイス構成により、反射光の影響を低減した安定な増幅機能を達成し、  
かつ経済的な光変調装置を提供することにある。

本発明の第 1 の態様 (aspect) は、双方向光増幅器を含む反射型の光変調器、お  
よびこの光変調器を複数組み合わせた多波長一括光調装置に対して、双方向光増幅  
15 器の利得と光変調器の損失の関係を数値限定することにより、双方向光増幅器の端  
面における反射光の影響を低減し、安定した増幅機能を達成する。

本発明の第 2 の態様は、双方向光増幅器を含む反射型の光変調器、およびこの光  
変調器を複数組み合わせた多波長一括光調装置に対して、偏波回転手段の挿入を行  
20 なうことにより、双方向光増幅器の端面における反射光の影響を低減し、安定した  
増幅機能を達成する。

本発明の第 3 の態様は、多段に接続した半導体光増幅器 (S O A) を含む透過型  
の光変調装置に対して、1 つおきに光アイソレータを挿入することにより、反射光  
の影響を低減することによる安定した増幅機能とコストの低減とを同時に達成す  
25 る。



### 図面の簡単な説明

F I G. 1は従来の光変調回路の構成を示すブロック図である。

F I G. 2は従来の反射型光変調装置の構成を示すブロック図である。

F I G. 3は半導体光増幅器を利用した従来の光変調装置の構成を示すブロック  
5 図である。

F I G. 4は双方向光増幅器を利用した従来の光変調装置の構成を示すブロック  
図である。

F I G. 5は半導体光増幅器の未飽和領域を説明するグラフである。

F I G. 6は半導体光増幅器を多段接続して高利得増幅を実現する光変調装置と  
10 して考えられる構成を示すブロック図である。

F I G. 7は複数の半導体光増幅器を多段接続した時の反射光の様子を示す概念  
図である。

F I G. 8は半導体光増幅器の反射光を説明する概念図である。

F I G. 9は2個の半導体光増幅器を多段接続した時の反射光の様子を示す概念  
15 図である。

F I G. 10はF I G. 9における信号光に対する反射光の割合を説明する図で  
ある。

F I G s. 11 A－11 Cはそれぞれ本発明の第1の実施形態の光変調装置の構  
成を示すブロック図である。

20 F I G s. 12 A－12 Cはそれぞれ本発明の第2の実施形態の光変調装置の構  
成を示すブロック図である。

F I G. 13は本発明の第3の実施形態の光変調装置の特性を説明するグラフで  
ある。

F I G. 14は本発明の第4の実施形態の光変調装置の構成を示すブロック図で  
25 ある。

F I G. 15は本発明の第4の実施形態における偏波面の方向を説明する模式図  
である。

FIG. 16は本発明の第5の実施形態の光変調装置の構成を示すブロック図である。

発明を実施するための最良の形態

5 以下、図面を参照して本発明の最良の実施形態を詳細に説明する。

(第1の実施形態)

本発明の第1の実施形態は、多段に接続した半導体光増幅器(SOA)を含む透過型の光変調装置に対して、1つおきに光アイソレータを挿入することにより、反射光の影響を低減することによる安定した増幅機能とコストの低減とを同時に実現するものである。本実施形態の具体的な構成例を説明する前に、その原理を説明する。

〈SOAを多段接続した時の反射光〉

FIG. 7は、複数のSOAを多段接続した時の反射光を説明する図である。この多段接続構成において、光変調装置として機能するためには、使用するSOAのうちの1つを光強度変調器として使用するか、もしくは外部変調器を挿入する必要があるが、ここでは反射光の説明を簡単化するために、すべてのSOAを単に光増幅器として機能させることとする。

FIG. 7において、 $n$  ( $\geq 2$ ) 個の半導体光増幅器 ( $S_1, S_2, \dots, S_1, \dots, S_n$ ) が、入出力を含む  $n+1$  個の光パス ( $x_1, x_2, \dots, x_1, \dots, x_{n+1}$ ) により直列に結合され、その入出力は、それぞれ、入力側伝送路301、出力側伝送路309に接続されている。上述したように入出力伝送路301、309は反射点となる。また、SOA ( $S_1, S_2, \dots, S_1, \dots, S_n$ ) は素子そのものの両端に反射端を持つため、SOA自体が反射点なる。

FIG. 8は、SOAの反射光を説明する図である。SOAの利得  $g_1$ 、端面反射率  $r$  とすると、光パワー1の光がSOAに入射された時、SOAの反射光パワーは  $g_1^2 r$  となり、端面反射率が  $g_1^2$  倍される。この反射はそれぞれのSOAにつき双方向で起こりうる。

FIG. 7では、信号光の進行方向と同一方向の反射を入力側から順に、 $Ref(0)$ ,  $Ref(1)$ ,  $\dots$ ,  $Ref(i)$ ,  $\dots$ ,  $Ref(n)$ 、逆方向の反射を入力側から順に、 $ref(1)$ ,  $ref(2)$ ,  $\dots$ ,  $ref(i)$ ,  $\dots$ ,  $ref(n+1)$ 、としている。 $Ref(0)$  および  $ref(n+1)$  は、それぞれ、入力側伝送路反射および出力側伝送路反射であり、それ以外の反射  $Ref(i)$ ,  $ref(i)$  は、半導体光増幅器  $S_1$  の双方向の反射を表す。

反射光の影響について、簡単のため  $n=2$  の場合について考える。FIG. 9は、 $n=2$  の場合の反射光を説明する図である。 $Ref(0)$ ,  $Ref(1)$ ,  $Ref(2)$  は信号光の進行方向と同一方向の反射、 $ref(1)$ ,  $ref(2)$ ,  $ref(3)$  は逆方向の反射を表す。 $Ref(0)$  および  $ref(3)$  は、それぞれ、入力側伝送路反射および出力側伝送路反射であり、 $Ref(1)$ ,  $ref(1)$  および  $Ref(2)$ ,  $ref(2)$  は、それぞれ、半導体光増幅器  $S_1$  および  $S_2$  の反射である。一般に反射が問題となるのは、信号光の進行方向と逆方向の反射（1回目の反射）に引き続いて、同一方向の反射（2回目の反射）が起こり、それが信号光と干渉して信号光パワーが不安定になることによる。FIG. 9においては、SOAの利得が含まれるため、反射光はその利得により増幅され、その影響はより大きくなる。

FIG. 9における  $Ref(i)$  および  $ref(i)$  の反射率を、それぞれ、 $R(i)$  および  $r(i)$ （但し、 $1 \leq i \leq 3$ ）とした時の信号光に対する2回反射光の割合を説明する図がFIG. 10である。FIG. 10に示すように、 $ref(i)$  に引き続いて  $Ref(i-1)$  の反射が起こる場合には、信号光に対する2回反射光の割合は、反射点の反射率の2乗のオーダーであるが、 $ref(i)$  に引き続いて  $Ref(i-2)$  ないし  $Ref(i-3)$  の反射が起こる場合には、信号光に対する2回反射光の割合は、反射点の反射率の2乗のオーダーに対して、通過するSOAの利得の2乗倍だけ大きくなる。

FIG. 10は、 $n=2$  の場合について示しているが、一般に  $n$  個のSOAを多段接続したときには、 $ref(i)$  に引き続く  $Ref(i-2)$ ,  $Ref(i-3)$ ,  $\dots$ ,  $Ref(0)$  の反射は、 $ref(i)$  に引き続く  $Ref(i-1)$  の反射と比

較して、それぞれ、 $S_{i-1}$ ,  $S_{i-1} + S_{i-2}$ ,  $\dots$ ,  $S_{i-1} + S_{i-2} + \dots + S_1$ の利得の2乗倍だけ、信号光に対する反射光の割合のオーダが大きくなる（但し、 $1 \leq i \leq n+1$ ）。

従って、 $ref(i)$ に引き続く $Ref(i-1)$ の反射を許容し、 $ref(i)$ に引き続く $Ref(i-2)$ ,  $Ref(i-3)$ ,  $\dots$ ,  $Ref(0)$ の反射を防ぐには、光パス( $x_1, x_2, \dots, x_1, \dots, x_{n+1}$ )に対して一つおきに光アイソレータを挿入すればよい。

#### 〈具体的構成例〉

FIGs. 11A-11Cは、上記のように光パスに対して一つおきに光アイソレータを挿入した本発明の第1の実施形態の光変調装置の構成を説明する図である。ここで、 $O_1$ ,  $O_2$ は光アイソレータである。第1番目の光アイソレータ $O_1$ は入力側伝送路と第1番目のSOA  $S_1$ 間の第1番目の光パス $x_1$ に挿入され、第2番目の光アイソレータ $O_1$ は第2番目のSOA  $S_2$ と第3番目のSOA  $S_3$ 間の第3番目の光パス $x_3$ に挿入されている。このように、本実施形態では、光パスに対して一つおきに光アイソレータを挿入することを特徴としている。

また、本例では、SOAの個数 $n=3$ であり、そのうちの任意のいずれか1つを、注入電流を送信信号により強度変調することにより光強度変調器(MOD)として使用している。すなわち、FIG. 11Aでは、第3番目のSOA  $S_3$ を光強度変調器として使用し、FIG. 11Bでは、第2番目のSOA  $S_2$ を光強度変調器として使用し、FIG. 11Cでは、第1番目のSOA  $S_1$ を光強度変調器として使用している。

光アイソレータと光強度変調器についての上記の配列関係は、SOAの個数 $n$ が2の場合や、4以上になっても同様である。

この実施形態の構成により、連続光を出力する光源と光強度変調器が伝送路を介して離れた位置にある光通信システムにおいて、伝送路における光パワー損失の補完と変調動作を同時に達成する装置を実現できる。

(第2の実施形態)

FIGs. 12A-12Cは、本発明の第2の実施形態の光変調装置の構成を説明する図である。本実施形態は、第1の実施形態の変形例に相当し、光増幅器を構成する3個のSOA  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ の任意のいずれかの間に光強度変調器Mを挿入する。

- 5 FIG. 12Aは光アイソレータ $O_1$ ,  $O_2$ が挿入されていない区間に、光強度変調器Mを挿入した構成である。ここでは第1と第2のSOA  $S_1$ ,  $S_2$ 間の第2の光パス（光接続手段） $x_2$ に光強度変調器Mを挿入した例を示しているが、第3のSOA  $S_3$ と出力端子との間の第4の光パス $x_4$ に光強度変調器Mを挿入してもよい。ただし、この場合には最終段のSOA  $S_3$ で増幅された光パワーに対応
- 10 できる光強度変調器Mを用いる必要がある。

FIG. 12Aの構成では、第1のSOA  $S_1$ から出力された連続光と、第2のSOA  $S_2$ と第1のSOA  $S_1$ における連続光の2回反射光が干渉するまでに、光強度変調器Mで2度の強度変調を受ける。従って、信号光に対する2回反射光の割合は光強度変調器Mを挿入しない場合に対して相対的に小さくなる。

- 15 FIG. 12Bは光アイソレータ $O_2$ が挿入されている区間に光強度変調器Mを挿入した構成を示す。ここでは第2と第3のSOA  $S_2$ ,  $S_3$ 間の第3の光パス $x_3$ に光強度変調器Mを挿入した例を示すが、入力端子と第1のSOA  $S_1$ との間の第1の光パス $x_1$ に光強度変調器Mを挿入してもよい。ただし、後者の場合には光強度変調器Mの損失によりSOA  $S_1$ への入力パワーが低下し、SNRが劣化
- 20 することを考慮する必要がある。なお、FIGs. 12B-12Cに示すように、光アイソレータ $O_2$ と光強度変調器Mの接続の順番は任意である。

- 本実施形態で用いられる光強度変調器Mとしては、例えば電界吸収型光強度変調器（EA変調器）を用いることができる。前述の第1の実施形態ではSOAを光強度変調器としているためにG（bps）以上の変調動作は困難であったが、EA変調器を光強度変調器として用いる場合には40G（bps）程度までの変調動作に
- 25 対応することができる。

（第3の実施形態）

本発明の第3の実施形態の光変調装置は、前述のFIG. 4に示すような双方向光増幅器を有する装置構成において、増幅器の利得の数値限定を後述のように行うことにより、双方向光増幅器の端面における反射光の影響を低減し、安定した増幅機能を達成することができるようにした装置である。以下に、本発明による増幅器利得の数値限定について説明する。

#### <反射光の影響を定量化する手法>

FIG. 4に示すように、双方向光増幅器409, 415の両端からの反射光は2つ存在し、一方の反射光1は変調光と、もう一方の反射光2は連続光と同一方向に進む。この連続光は強度変調されて変調光となり、反射光2は連続光と同じ経路を辿るため、結局、変調光には反射光1および反射光2が付与される。変調光は反射光1および反射光2の同一偏波方向成分と干渉し、ビート雑音として強度揺らぎが生じる。以下に、反射光1と反射光2が変調光に与える影響を定量的に示す手法について説明する。

ここでは、以下を想定することができる。

- ・ 双方向光増幅器409, 415の一方の端面で反射された光が再度もう一方の端面で反射される多重反射光は十分小さいとして無視する。
- ・ 送信信号のマーク率は $1/2$ である。(データ信号列にマークまたはスペースが連続すると、信号を受信する際にクロック信号を抽出することが困難になるため、通常、SDH (synchronous digital hierarchy; 同期ディジタルハイアラキー) におけるスクランブル (scramble)、ギガビットイーサ (giga bit ether) における $8B \rightarrow 10B$  (bel) 変換などで、マーク率をほぼ $1/2$ にする手法が講じられる。)

双方向光増幅器409, 415への入力連続光パワー、双方向光増幅器409, 415の利得、光強度変調器411, 419への入力連続光パワーに対する変調光出力パワー差、双方向光増幅器全体の反射率を、それぞれ、 $1$ 、 $g$ 、 $x$ 、 $r'$  とすると、光変調器出力の変調光パワー、反射光1のパワー、反射光2のパワーは、それぞれ、 $g^2 x$ 、 $r'$ 、 $g^2 x^2 r'$  で表される。

今、問題となるのは、変調光と反射光の干渉であるので、変調光マーク時の反射光の影響のみを考えればよい。送信信号のマーク率は  $1/2$  であるので、光変調器出力の変調光のマークレベルパワー、および、反射光 2 のマークレベルパワーは、それぞれ、 $2g^2x$ 、 $4g^2x^2r'$  である。但し、光変調器出力において変調光および反射光 2 が同時にマークとなる確率は  $1/2$  であるので、反射光 2 の影響は半減される。したがって、変調光マーク時の変調光と全反射光とのパワー比は、

$$\frac{S}{N} = \frac{2g^2x}{(r' + 2g^2x^2r')} \quad (1)$$

と記述できる。さらに、 $r'$  は光ファイバ結合損を無視すると、 $r' = g^2r$  なる関係が成り立つので、

$$\frac{S}{N} = \frac{2g^2x}{(g^2r + 2g^4x^2r)} \quad (2)$$

と書き換えることができる。式 (2) を  $x$  の関数としてみなすと、

$$x = \frac{1}{\sqrt{2g}} \quad (3)$$

の時に、式 (2) は最大値をとる。すなわち、この時に反射光の影響を最も小さくすることができる。これを対数スケールに書き直し、伝送路損失  $L$  [dB]、双方向増幅器利得  $G$  [dB] を用いると、

$$L = -10\log_{10}(x) = 10\log_{10}(g) + \frac{1}{2} \cdot 10\log_{10}(2) = G + 1.5 \quad (4)$$

となる。またこの時に、反射光 1 と反射光 2 のパワーは等しくなる。

実際には、反射光は変調光と干渉するので、上記はあくまでも SNR を最適化する上式 (4) の導出において有効である。変調光に対する反射光の影響の定量的な見積もりは以下のように行うことができる。

光変調器出力を、光サーキュレータ 417 などを通して受信することを考える。変調光のマーク側光電界を  $E_0 \exp[i(\omega_c t + \phi_0)]$ 、反射光 1 のマーク側光電界を  $E_1 \exp[i(\omega_c t + \phi_1)]$ 、反射光 2 のマーク側光電界を  $E_2 \exp[i(\omega_c t + \phi_2)]$  とすると、受信

前の光電界は、

$$E_{OUT}(t) = E_0 \exp[i(\omega_c t + \phi_0)] + E_1 \exp[i(\omega_c t + \phi_1)] + E_2 \exp[i(\omega_c t + \phi_2)] \quad (5)$$

で表される。

5 受信光電流は、必要とする係数を一切無視すると、

$$i_p = E_0^2 + 2E_0E_1 \exp[i(\phi_0 - \phi_1)] + 2E_0E_2 \exp[i(\phi_0 - \phi_2)] + E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \exp[i(\phi_1 - \phi_2)] \quad (6)$$

となる。ここでは、第1項が変調光そのものであり、第2項以下は雑音である。第1項ないし第6項は、それぞれ、変調光および反射光がすべてマーク側にあるときの、変調光パワー、変調光と反射光1のビート（干渉）、変調光と反射光2のビート（干渉）、反射光1パワー、反射光2パワー、反射光1と反射光2のビート（干渉）を表す。第4項ないし第6項は、反射光は変調光に対して小さいことから無視できる。ここでは、第2項および第3項の影響を考慮して、規格化ビートノイズパワーとして以下を定義する。

$$\sigma_{RIN}^2 = \frac{2(E_0^2E_1^2 + E_0^2E_2^2)}{(E_0^2)^2} \quad (7)$$

15 複数の反射点に関与する場合のビートノイズは、分散値として式（7）で表される値を示すガウス分布として取り扱うことができる。逆に反射点の数が少ない場合には、ビートノイズを過剰に見積もることになる。

ここまでの議論は、反射光として双方向光増幅器409、415の両端面からの反射光1および反射光2を考慮したが、実際には、双方向光増幅器409、415の端面反射以外に、系に挿入される各種光デバイスの入出力端反射や、光コネクタによる反射なども存在し、これらの反射点からの反射光も双方向光増幅器409、415の利得を受けることにより、それらの反射率如何によってはその影響が無視できなくなる。このような場合には、ここまでの議論で用いた端面反射率  $r$  を、端面反射以外の反射点からの反射率の合計として捉えれば、式（7）で与えられる分散値を用いた反射光の影響の見積もりは妥当であると言える。一方、双方向光増幅



器 4 0 9, 4 1 5 の両端面からの反射のみが支配的な場合には、上記見積もりを最悪設計と見なせばよい。

以上の議論は、アレイ導波路回折格子 (AWG: Arrayed-Waveguide Grating) のコヒーレントクロストークの影響を定量的に見積もる手法を示した、IEEE J.

- 5 Lightwave Technol., vol.14, no. 6, pp.1097-1105, 1996 の論文からの類推によるものである。但し、本光変調装置においては、変調光マーク時において反射光 2 が同じくマークである確率は  $1/2$  であるため、式 (7) は、

$$\sigma_{\text{RIN}}^2 = \frac{2E_0^2 E_1^2 + E_0^2 E_2^2}{(E_0^2)^2} \quad (8)$$

に書き換えられる。この式の値は、式 (2) の逆数の 2 倍に等しい。

#### 10 <反射光の影響についての計算例>

FIG. 13 は、上記の式 (8) を用いた計算結果を示す。同図において、横軸は変調部損失 (L) [dB]、縦軸は左側が Q 値 [dB] および右側が光変調装置利得 [dB] を示す。光変調装置利得は、変調部 (光強度変調器) 4 1 1, 4 1 9 における 3 dB の変調損失を考慮しない  $2G - (L - 3.0)$  [dB]、および、3 dB の変調損失を考慮する  $2G - L$  [dB] の両方について図示している。ここでいう Q 値とは、IEEE Photon. Technol. Lett. Vol. 5, no.3, pp.304-306 において提案されている、変調光の信号対雑音比 (SNR: Signal to Noise Ratio) を規定する評価パラメータであり、

$$Q = \frac{S(1) - S(0)}{\sigma_1 + \sigma_0} \quad (9)$$

- 20 により定義される。ここで、 $S(1)$  および  $S(0)$  は、それぞれ、マークおよびスペースの信号レベルを表し、また  $\sigma_1$  および  $\sigma_0$  は、それぞれ、マークおよびスペースの雑音量を表す。ここでは、 $S(1) = 1$  とすると、 $\sigma_1 = \sigma_{\text{RIN}}$  であり、 $S(0)$  および  $\sigma_0$  は、ほぼゼロと見なすことができる。

- 25 計算では、光変調装置 4 0 5, 4 0 7 への入力連続光パワー -6 dBm、双方向光増幅器利得  $G = 10$  [dB]、双方向光増幅器雑音指数 7 dB、双方向光増幅器

全体の反射率を $-22\text{ dB}$ とし、光プリアンプ受信を行わずに直接光電変換して変調光を受信するものとした。その計算結果であるFIG. 13に示すように、変調部損失 $L=11.5\text{ [dB]}$ 、つまり、 $L=G+1.5\text{ [dB]}$ においてQ値は最大値をとり、Q値を表す曲線はその値を中心に左右対称となる。図中、 $(\alpha)$ 、 $(\beta)$ 、

5  $(\gamma)$ 、 $(\delta)$ の範囲は、それぞれ、次の通りとなる。

$$(\alpha) 0 \leq L \leq 2G + 3.0$$

光変調器利得 $2G - [L - 3.0] \geq 0$ 、かつ、光変調器利得 $2G - [L - 3.0] = 0\text{ (dB)}$ のQ値が保障される光変調部損失領域。

$$(\beta) 3.0 \leq L \leq 2G$$

10 光変調器利得 $2G - L \geq 0$ 、かつ、光変調器利得 $2G - L = 0\text{ (dB)}$ のQ値が保障される光変調部損失領域。

$$(\gamma) G - 4.5 \leq L \leq G + 7.5$$

Q値が最大値に対して $3\text{ dB}$ 以内となる領域。

$$(\delta) L = G + 1.5$$

15 最大Q値をとる変調部損失。

$(\delta)$ の領域については、上記の通りである。また、 $(\alpha)$ および $(\beta)$ の領域におけるLの上限値は、光変調利得が $0\text{ [dB]}$ 以上であることを示す。また、変調部損失Lの値は、Q値曲線が上記のように左右対称であることから必然的に決定される。

20 また、Q値が最大値に対して $3\text{ dB}$ 以内となるのは、 $5.5\text{ [dB]} \leq L \leq 17.5\text{ [dB]}$ 、つまり、 $(G + 1.5) - 6\text{ [dB]} \leq L \leq (G + 1.5) + 6\text{ [dB]}$ の時である。このLの範囲はGの値によらない。実際、上記の式(3)に示されるxの値を、上記の式(1)に代入して得られる値の半分( $3\text{ dB}$ 減)が、式(1)に等しいとした時のxの2次方程式を解くと、その解は、

$$25 \quad x = \frac{(2\sqrt{2} \pm \sqrt{6})}{2g} \quad (10)$$

である。さらに、これを対数スケールに書き直すと、

$$L = -10\log_{10}(x) = 10\log_{10}\left(\frac{2}{2\sqrt{2} \pm \sqrt{6}}\right) + 10\log_{10}(g) \quad (11)$$
$$\cong (G + 1.5) \pm 6$$

となり、これが ( $\gamma$ ) の領域の上限値および下限値を表す。

従って、変調部損失  $L$  を ( $\alpha$ ) の領域の間の任意の範囲 (例えば、( $\beta$ )、( $\gamma$ )、( $\delta$ )) において、光変調装置が利得を保持したまま、変調光に対する反射光の比率を低く抑えることができる。このとき、FIG. 13 から明らかなように、変調部損失  $L$  を ( $\delta$ ) の  $L = G + 1.5$  に近付ける程、その比率を低くできる。

#### (第4の実施形態)

本発明の第4の実施形態の光変調装置の構成を FIG. 14 に示す。本実施形態の光変調装置は、偏波回転手段を挿入することにより、双方向光増幅器の端面における反射光の影響を低減し、安定した増幅機能を実現するものである。

FIG. 14 に示すように、本装置は、入力多波長光と出力変調光とを偏波面の違で分離する偏波分離器 501 と、多波長光を所定の波長毎に分波する波長合分波器 502 と、分波された各単一波長光のパワーを双方向で増幅する双方向光増幅器 503 と、単一波長光の偏波面を双方向で回転させる偏波回転手段 504 と、単一波長光の強度を双方向で変調する光強度変調器 505 と、光強度変調器 505 から出力される変調された単一波長光を再び双方向光増幅器 503 に帰還させる光反射器 506 とを備える多波長一括光変調装置である。

偏波分離器 501 としては、一般によく使用される偏波ビームスプリッタ (PBS : Polarization Beam Splitter) を用いればよいが、例えば、出力光を光サーキュレータ、あるいは光カプラを介して波長合分波器 502 から出力させ、偏光子を用いて入力光と 90 度偏波のずれた光のみを取り出す構成としてもよい。

波長合分波器 502 として、例えば AWG を用いることができる。AWG は、ある入力導波路から入射された光が、波長に応じて異なる出力導波路から出力される。また、AWG は可逆性を有しており、複数の波長光を 1 つの出力導波路に合波することもできる。

双方向光増幅器 503 として、例えば SOA を用いることができる。SOA は、半導体レーザの共振器端面を低反射化することにより、半導体内の活性層を進行する光を、誘導放出により増幅させる光増幅器である。双方向光増幅器 503 としては、エルビウム添加光ファイバ（EDFA : Erbium Doped Fiber Amplifier）などの光ファイバ増幅器を考

5 の光ファイバ増幅器を考

えることもできるが、光ファイバ増幅器は、ポンプ光を出力する半導体レーザ、エルビウムなどを添加した添加物光ファイバ、ポンプ光を添加物光ファイバに結合する結合器から構成されるため、部品点数の観点から SOA よりも高コストになることが予想され、コスト面からは SOA の方が有利である。

双方向光増幅器 503 と光強度変調器 505 との間には偏波回転手段 504 が配置されているが、この偏波回転手段 504 としては、1/4 波長板、あるいはファラデー素子などが適用できる。また、ファラデー素子の一方の出力端に反射鏡を取り付けたファラデーミラーを用いてもよい。

10

光強度変調器 505 としては、例えばマッハツェンダ型光強度変調器、電界吸収型光強度変調器（EA 変調器）などが適用でき、単一波長光をデータ信号で強度変調する機能を有する。これらの光強度変調器によれば、40 G (bps) オーダの変調信号による強度変調が実用レベルで可能である。

15

光反射器 507 としては、例えば金属膜をコーティングした鏡、誘電体多層膜をコーティングした鏡などが適用できる。また、特定の波長に関する反射鏡として、回折格子やファイバブラッググレーティングなども光反射器として用いることができる。また、ファイバブラッググレーティングの応用例として、光導波路に直接回折格子（グレーティング）を書き込んだ光反射器でもよい。

20

偏波分離器 501 の一つの出力ポートは、空間光学系あるいは光導波路によって波長合分波器 502 の入力導波路に光学的に接続されている。波長合分波器 502 の出力導波路は、それぞれ空間光学系あるいは光導波路によって双方向光増幅器 503 の片方のポートに光学的に接続されている。双方向光増幅器 503 のもう一方のポートは、同じく空間光学系あるいは光導波路によって偏波回転手段 504 の片方のポートに光学的に接続されている。偏波回転手段 504 のもう一方のポートは、

25

同じく空間光学系あるいは光導波路によって光強度変調器 505 の片方のポートに光学的に接続されている。光強度変調器 505 のもう一方のポートは、同じく空間光学系あるいは光導波路によって光反射器 507 に光学的に接続されている。

本実施形態では、光強度変調器 505 の入力、および変調光の出力を偏波分離器 501 で切りわけているが、偏波回転手段 504 として例えば  $1/4$  波長板を用いた場合、入力光と出力光の偏波面の角度は  $90$  度ずれているので、出力光の特定の偏波だけを偏波分離器 501 で切り出せば、入力光と出力光とは分離できる。

波長合分波器 502 の入力導波路から入力された多波長光は、波長合分波器 502 で各波長毎に分波され、分波された一つの単一波長光は、それに対応する一つの双方向光増幅器 503 に導かれ、そのパワーを増幅される。

双方向光増幅器 503 は、利得の飽和領域において連続光と変調光の間の利得の奪い合いが信号劣化を引き起こす。よって、FIG. 5 に示すように、連続光と変調光の双方向光増幅器 503 からの出力パワー（横軸）の和（もしくは入力パワーの和）が、ある出力パワー（もしくは入力パワー）以下において利得（縦軸）が一定に保たれる利得の未飽和領域で使用されることが望ましい。

各双方向光増幅器 503 においてパワーを増幅された連続光（単一波長光）は、それぞれそれに対応する偏波回転手段 504 に入力される。偏波回転手段 504 において、連続光は偏波面が  $45$  度回転されて光強度変調器 505 に入力され、光強度変調器 505 で変調信号（データ信号）により強度変調される。変調された単一波長光は光強度変調器 505 の光反射器側ポートより出力され、光反射器 507 へ入力される。光反射器 507 で反射された変調光は、再び光強度変調器 505 を通過して、偏波回転手段 504 に入力される。変調光は、偏波回転手段 504 において偏波面がさらに  $45$  度回転され、双方向光増幅器 503 に入力されて、双方向光増幅器 503 で再度光パワーを増幅される。双方向光増幅器 503 の出力変調光は、その偏波面が入力光と比べて  $90$  度ずれているため、偏波分離器 501 により入力光と出力光とを分離することができる。従って、双方向光増幅器 503 から出た出力変調光は、波長合分波器 502 で合波されてから、偏波分離器 501 の出力ポー

トから装置外部に出力される。

光増幅器を双方向動作させるには、光増幅器の内部に光アイソレータを挿入することができないため、光増幅経路の両端からの端面反射の影響を考慮する必要がある。F I G. 4に示すように、この反射光は、双方向伝送時には2つ存在し（反射  
5 光1、反射光2）、反射光1は変調光と、反射光2は連続光と同一方向に進む。この連続光は強度変調されて変調光となり、反射光2は連続光と同じ経路を辿るため、従来例と同様に反射光1、2、連続光、変調光の偏波面が同じ方向とすれば、変調光には反射光1と反射光2が付与され、その結果、変調光は反射光1および反射光2の同一偏波方向成分と干渉し、ビート雑音として強度揺らぎが生じることになる。

10 しかしながら、偏波回転手段504を有する本実施形態の構成においては、F I G. 15で偏波面の方向を表わす円で囲まれた矢印で示すように、双方向光増幅器503の反射光1および反射光2は、同一方向に進む連続光もしくは変調光の偏波方向と直交する。反射光1は変調光と偏波方向が直交するため、出力において偏波分離器501において分離される。また、反射光2は連続光と偏波方向が直交し、  
15 以後強度変調されて変調光となってもその偏波関係は保持され、反射光1と同様に出力において偏波分離器501において分離される。その結果、双方の光の干渉による強度揺らぎを解消することができる。

また、本実施形態の構成によれば、F I G. 15で示すように、偏波回転手段504からの出力が光反射器507により反射され、再度偏波回転手段504に戻ってくるまでの経路における、光の偏波面が双方向において同一であるため、光強度  
20 変調器505として、LiNbO<sub>3</sub> マッハツェンダ型光強度変調器などの単一の入力偏波に対してのみ変調が可能な光強度変調器を使用することが可能である。

#### （第5の実施形態）

本発明の第5の実施形態の光変調装置の構成をF I G. 16に示す。本第5の実  
25 施形態の装置は上述の第4の実施形態における多波長一括光変調装置の光強度変調器505の前または後に（本図では後に挿入）、単一偏波のみを通過させることのできる偏光子506を挿入している。その他の構成は第4の実施形態と同様なの

でその詳細説明は省略する。

一般に、光デバイスや光ファイバを複数結合すると、直交する2つの偏波間の偏波消光比は著しく劣化する。FIG. 16に示す構成によれば、偏波回転手段504からの出力が光反射器507により反射され、再度偏波回転手段504に戻ってくるまでの経路における、光の偏波面が双方向において同一であるため、光経路内に偏光子506を挿入することができる。この偏光子506の挿入により、劣化した偏波消光比を回復させることができる。

(他の実施形態)

10   なお、本発明の好適な実施形態を例示して説明したが、本発明の実施形態は上記例示に限定されるものではなく、請求の範囲の各請求項に記載の範囲内であれば、その構成部材等の置換、変更、追加、個数の増減、形状の変更等の各種変形は、全て本発明の実施形態に含まれる。

## 請求の範囲

1. 単一波長の連続光を双方向に透過させ該単一波長光に利得を与える双方向光増幅手段と、

5 前記双方向光増幅手段で光パワーを増幅された連続光に対してマーク率がほぼ  $1/2$  の送信信号で強度変調を施す光強度変調手段と、

前記光強度変調手段で強度変調された連続光を再び前記光強度変調手段へ、または直接に前記双方向光増幅手段へ戻す光回帰手段とを具備し、

10 前記双方向光増幅手段の利得  $G$  (dB) に対する前記光強度変調手段への入力連続光の光パワーと前記光強度変調手段からの出力変調光の光パワーとの差で定義される変調部損失  $L$  (dB) の値が、

$0$  (dB) から  $2G + 3.0$  (dB)

の範囲内となるように設定されていることを特徴とする光変調装置。

15 2. 前記変調部損失  $L$  (dB) の値が、

$G + 1.5$  (dB)

となるように設定されていることを特徴とする請求項 1 記載の光変調装置。

20 3. 前記双方向光増幅手段が利得の未飽和領域において動作されることを特徴とする請求項 1 に記載の光変調装置。

4. 前記双方向光増幅手段が利得の未飽和領域において動作されることを特徴とする請求項 2 に記載の光変調装置。

25 5. 前記光強度変調手段はその後端に前記光回帰手段を構成する光反射器を備えた反射型の光強度変調器であることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれかに記載の光変調装置。



6. 前記光強度変調手段は光サーキュレータを介して形成される前記光回帰手段を構成する光ループ内に設けられた透過型の光強度変調器であることを特徴とする請求項1から4のいずれかに記載の光変調装置。

5

7. 前記光変調装置が多重波長数分設けられ、波長多重された連続光を分波して単一波長毎に複数の前記光変調装置にそれぞれ入力すると共に、複数の前記光変調装置から出力された変調光を多重して出力する波長合分波手段をさらに有することを特徴とする請求項1から4のいずれかに記載の光変調装置。

10

8. 複数の光搬送波を含む多波長光を構成する単一波長光を双方向に透過させ該単一波長光に利得を与える双方向光増幅手段と、

前記双方向光増幅手段で利得を与えられた単一波長光を双方向に透過させ該単一波長光に変調を施す光強度変調手段と、

15

前記光強度変調手段を透過した単一波長光を再び該光強度変調手段に回帰させる光回帰手段とを、前記多波長光を構成する複数の単一波長光のそれぞれに対応して複数備え、および

前記多波長光を単一波長光毎に分波して前記双方向光増幅手段にそれぞれ入力し、前記双方向光増幅手段から出力する複数の単一波長光を再び合波して出力する波長合分波手段と、

20

前記双方向光増幅手段と前記光強度変調手段との間にそれぞれ介装されて前記単一波長光の偏波面を回転させる複数の偏波回転手段と、

入力多波長光を前記波長合分波手段に入力し、前記偏波回転手段で偏波面が回転されて該波長合分波手段から出力する出力多波長光を前記入力多波長光と分離して出力する偏波分離手段とを具備することを特徴とする光変調装置。

25

9. さらに、前記光強度変調手段の前または後に偏光子が介挿されていることを

特徴とする請求項 8 に記載の光変調装置。

10. それぞれ個別の注入電流で反転分布を生成する複数  $n$  個 ( $n \geq 2$ ) の半導体光増幅器と、

5 入力端子と前記複数  $n$  個の半導体光増幅器と出力端子を順次接続する ( $n + 1$ ) 個の光接続手段と、

前記 ( $n + 1$ ) 個の光接続手段の奇数番または偶数番の位置に順次挿入される光アイソレータと、

連続光に対して強度変調を施す光強度変調手段と

10 を具備することを特徴とする光変調装置。

11. 前記複数  $n$  個の半導体光増幅器の中の 1 つの半導体光増幅器を、送信信号により強度変調された注入電流を印加して前記光強度変調手段にした構成であることを特徴とする請求項 10 に記載の光変調装置。

15

12. 前記 ( $n + 1$ ) 個の光接続手段のいずれか 1 箇所に前記光強度変調手段を挿入した構成であることを特徴とする請求項 10 に記載の光変調装置。

13. 前記 ( $n + 1$ ) 個の光接続手段のうち、前記入力端子および前記出力端子と接続される光接続手段以外のいずれか 1 箇所に前記光強度変調手段を挿入した構成であることを特徴とする請求項 10 に記載の光変調装置。

14. 前記 ( $n + 1$ ) 個の光接続手段の中で前記光アイソレータが挿入されていない光接続手段に前記光強度変調手段を挿入した構成であることを特徴とする請求項 12 または 13 に記載の光変調装置。

25

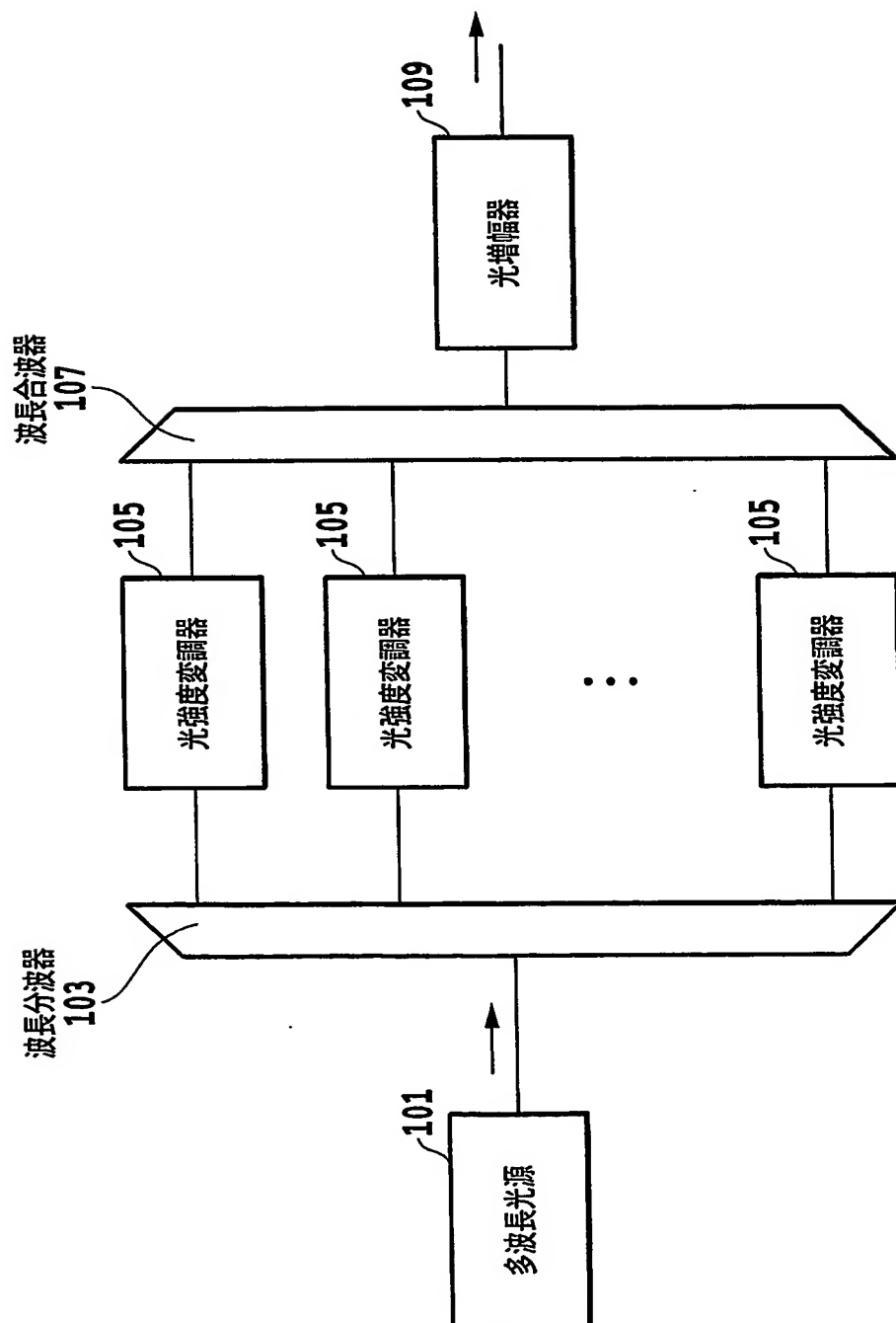


FIG.1

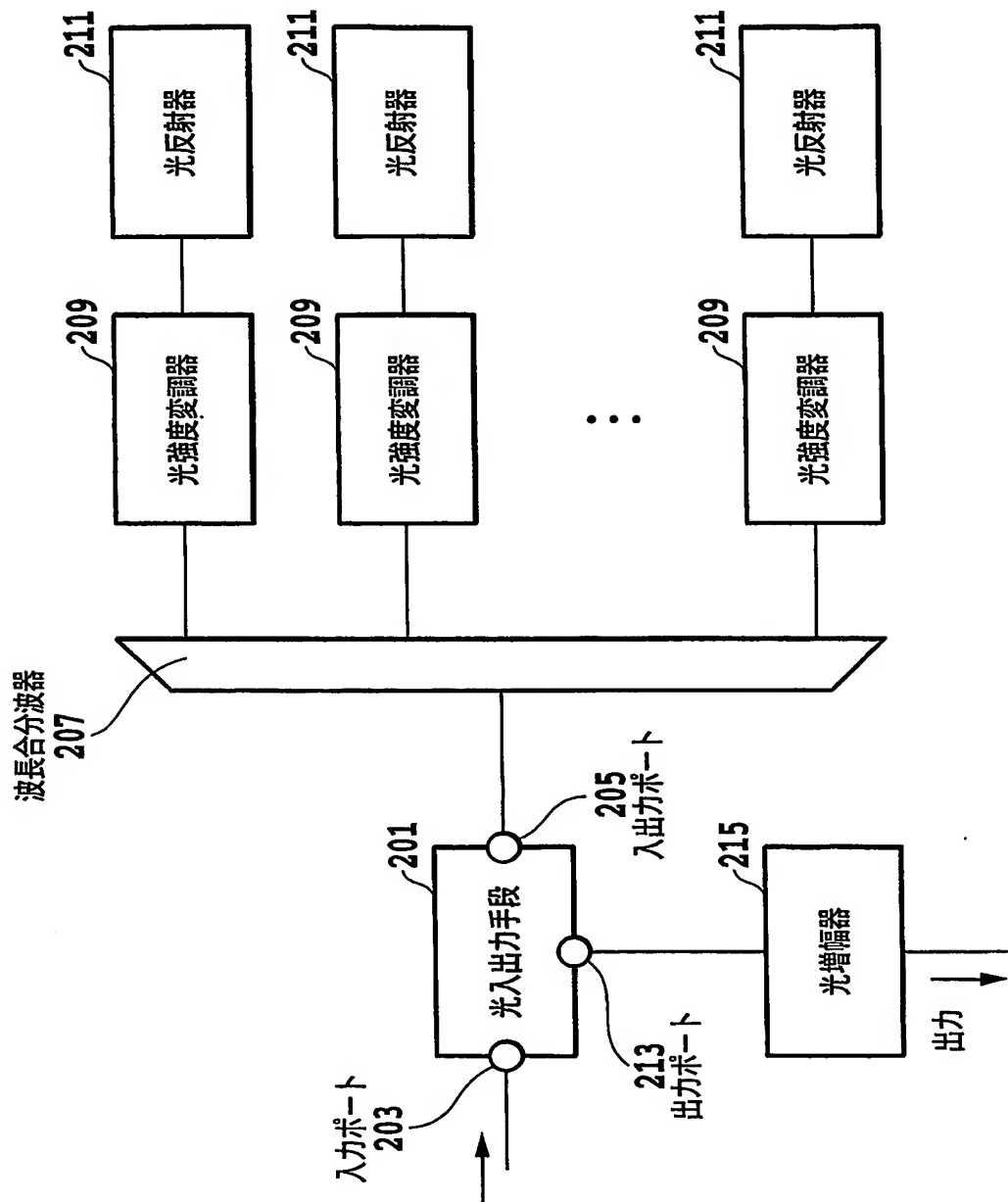


FIG.2

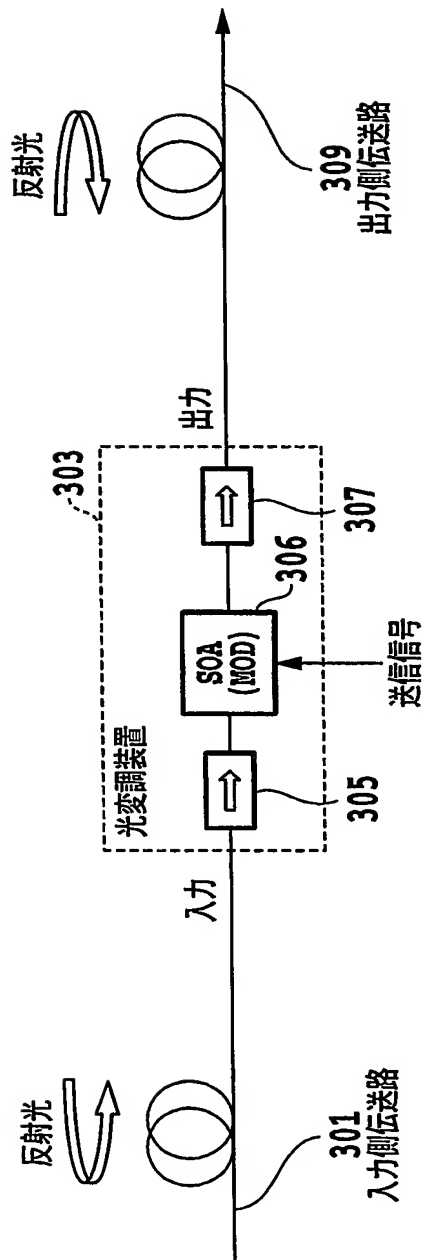


FIG.3

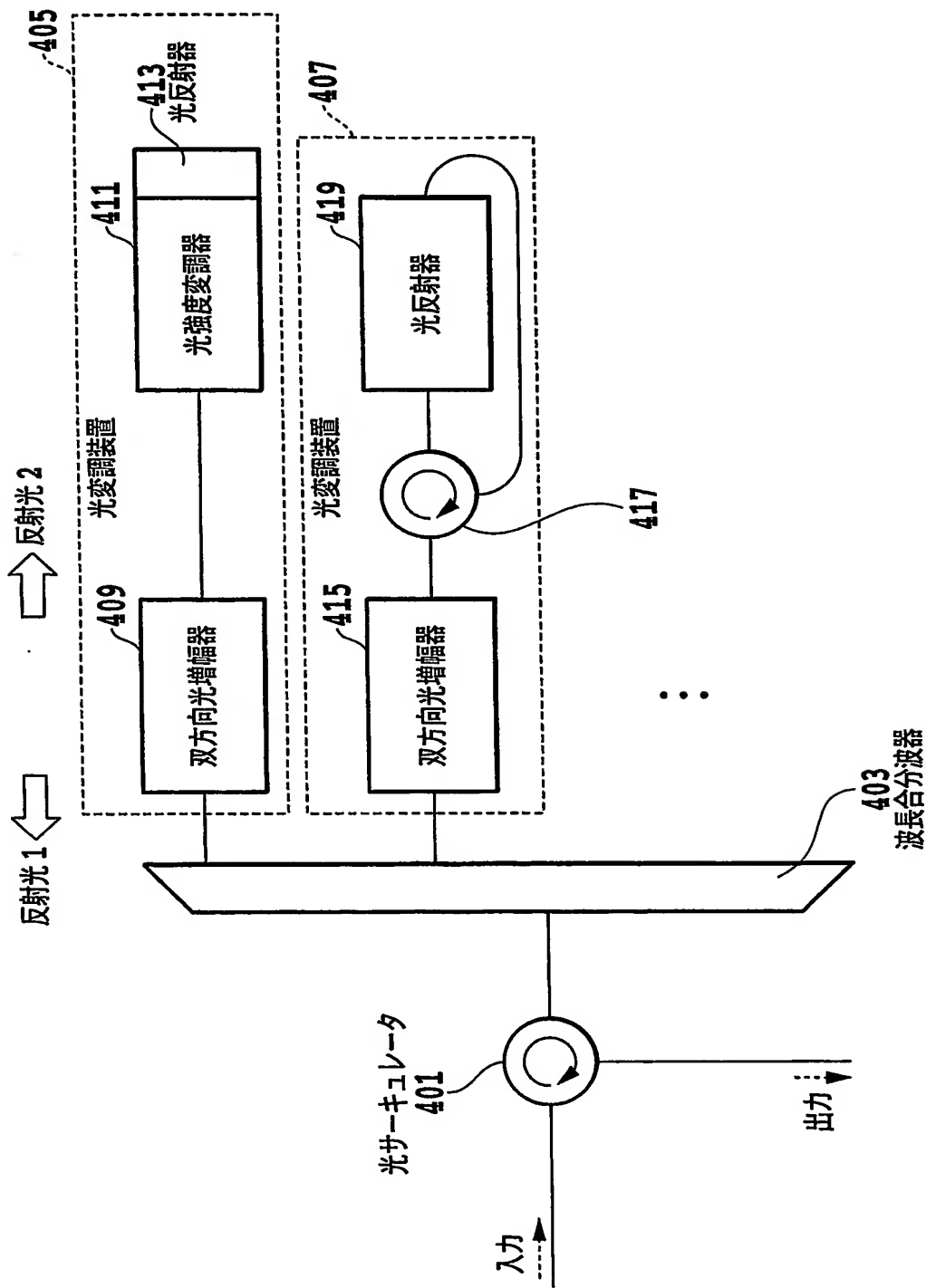


FIG.4

5/16

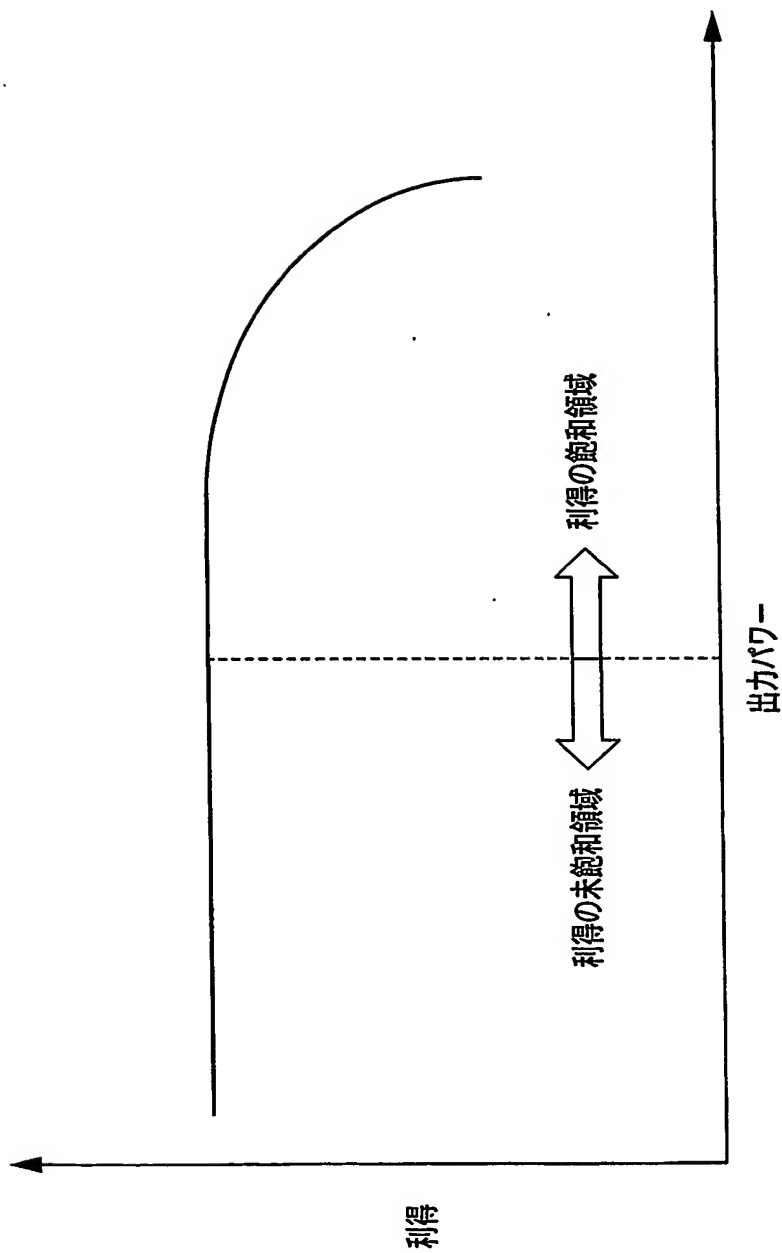


FIG.5

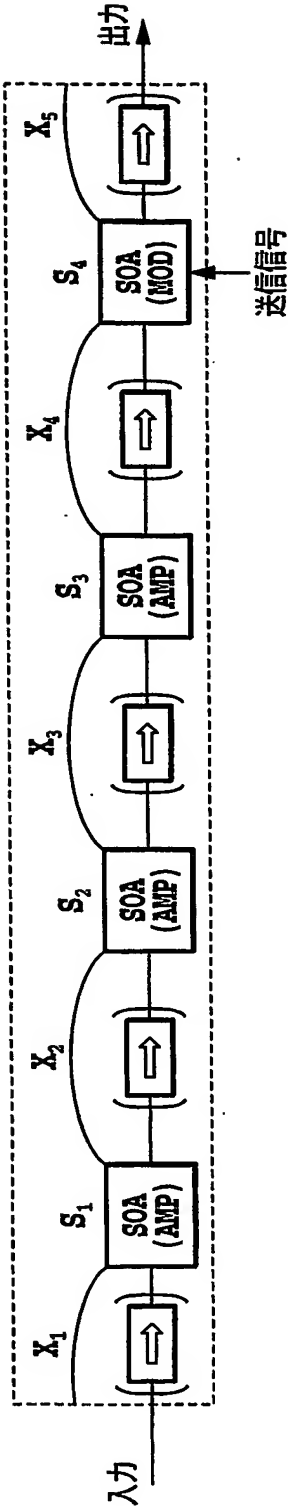


FIG.6



7/16

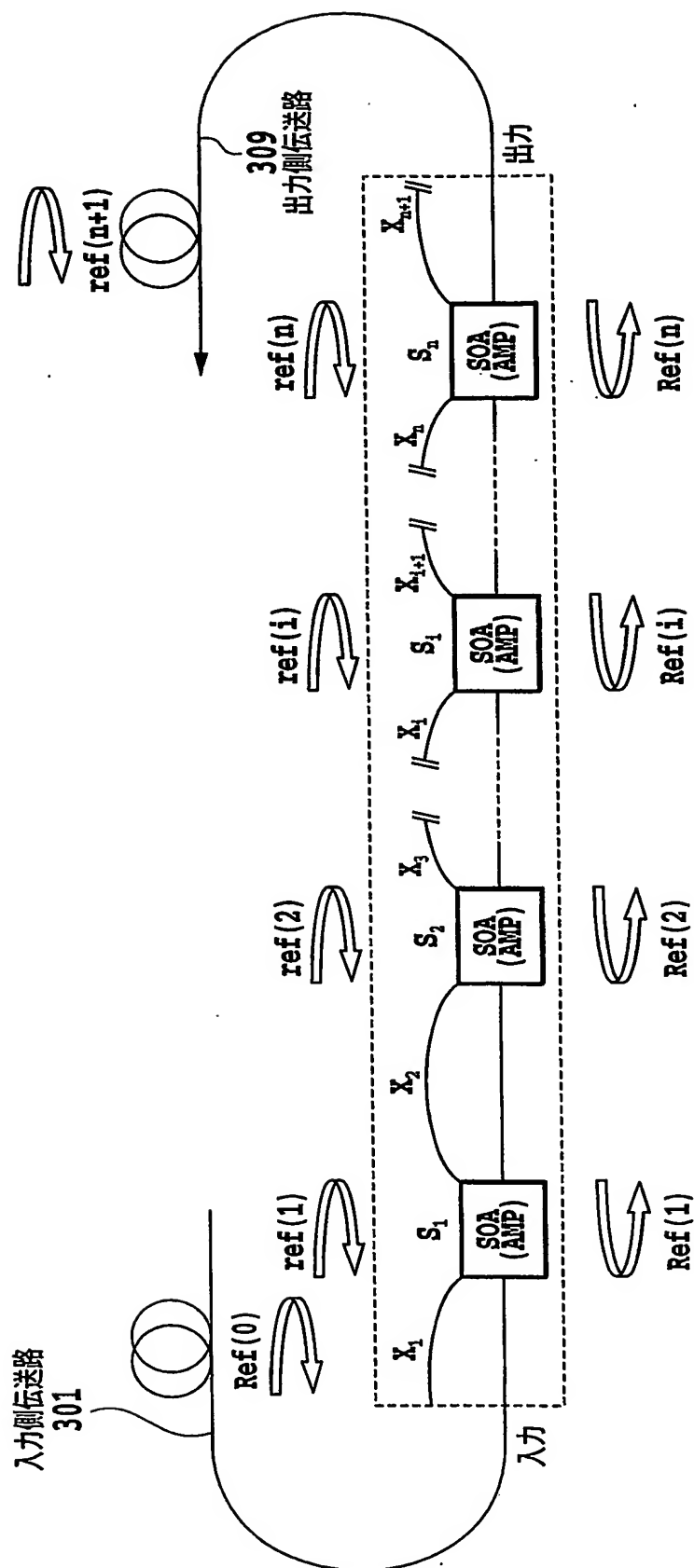


FIG.7

8/16

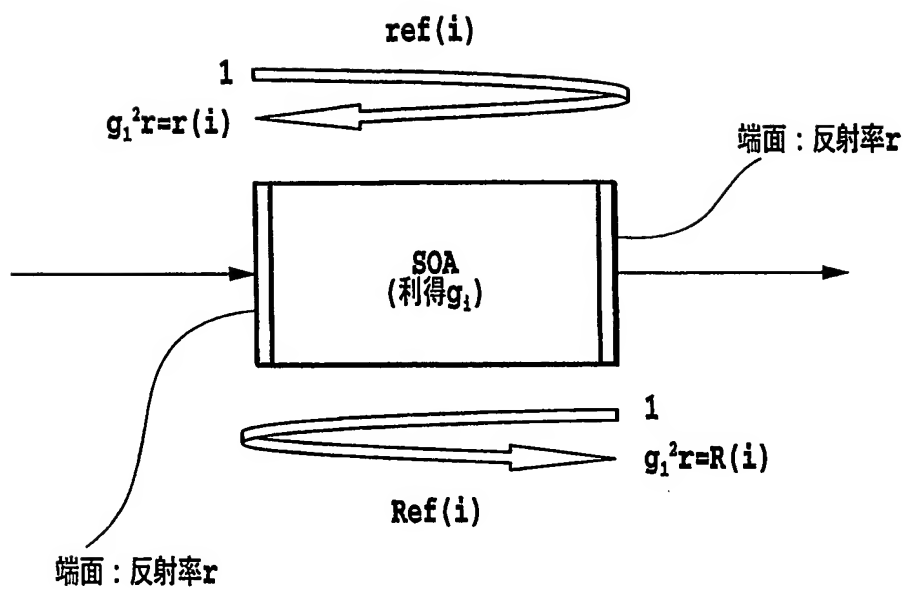


FIG.8

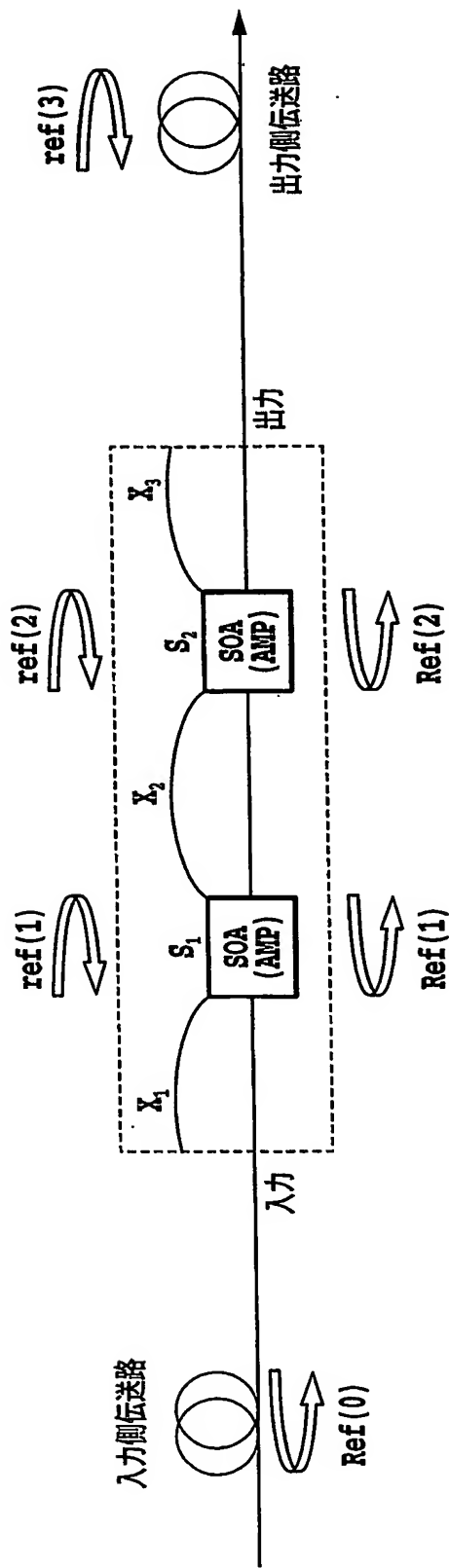


FIG.9

1回目の反射 2回目の反射		ref(1)	ref(2)	ref(3)
Ref(0)		$r(1)R(0)$	$r(2)R(0)g_1^2$	$r(3)R(0)g_1^2g_2^2$
Ref(1)		—	$r(2)R(1)$	$r(3)R(1)g_2^2$
Ref(2)		—	—	$r(3)R(2)$

 反射光の割合が少ない

FIG.10

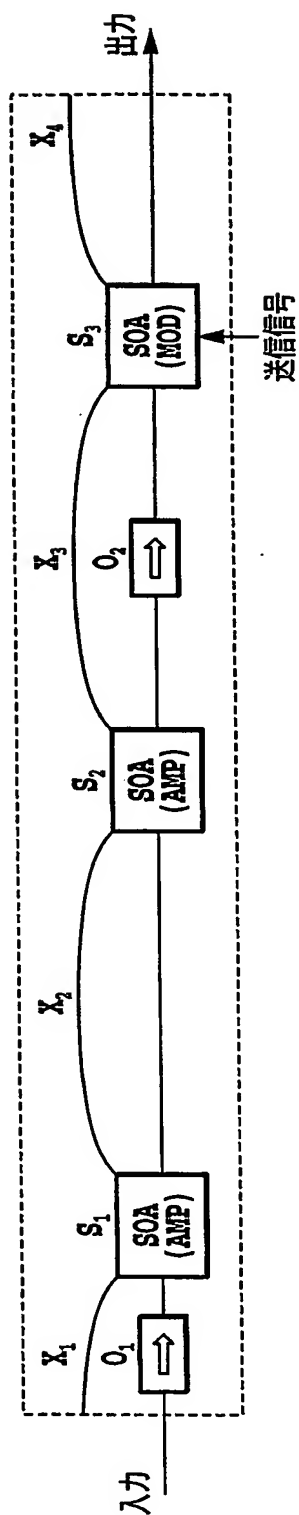


FIG.11A

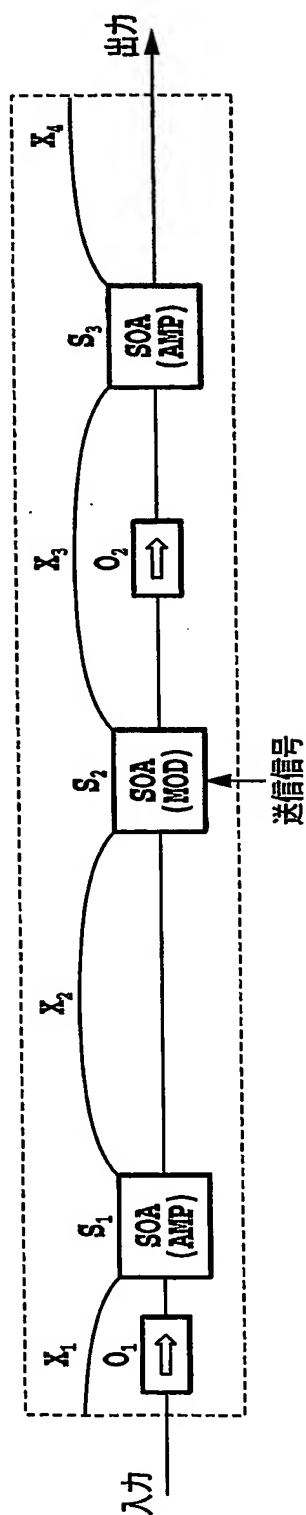


FIG.11B

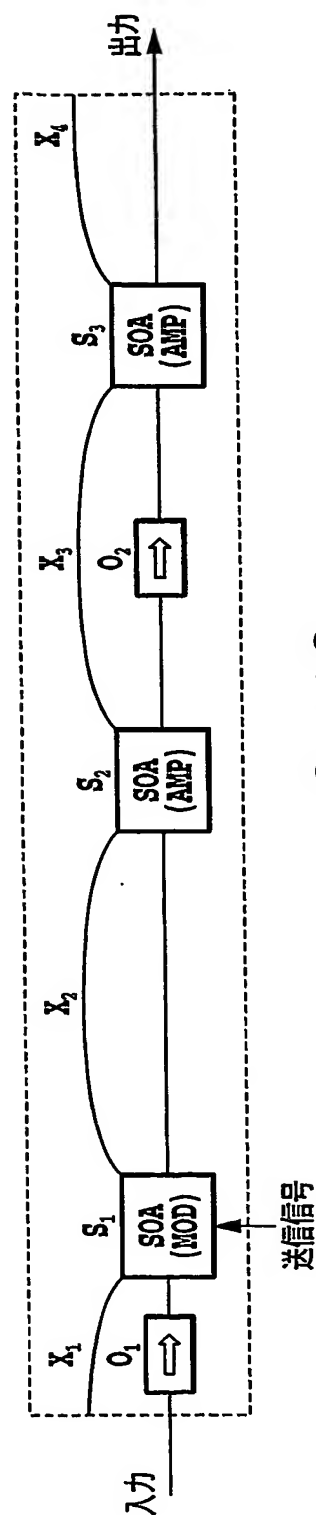
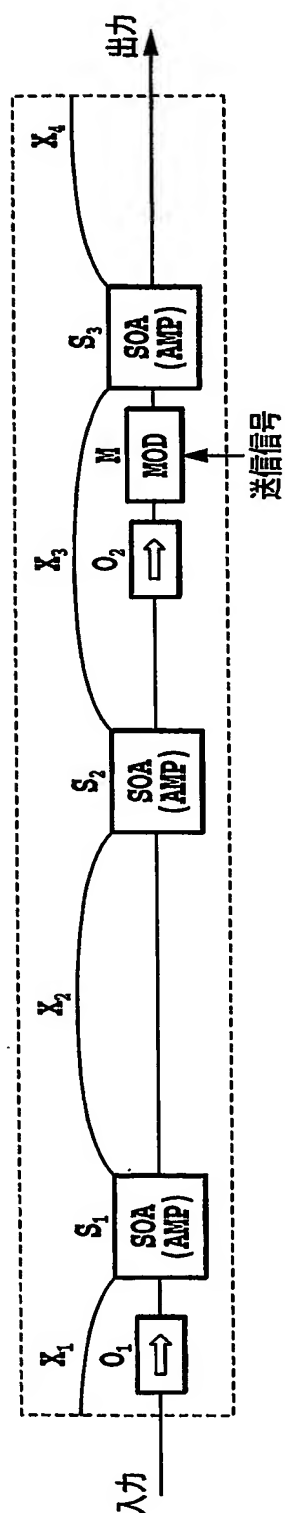
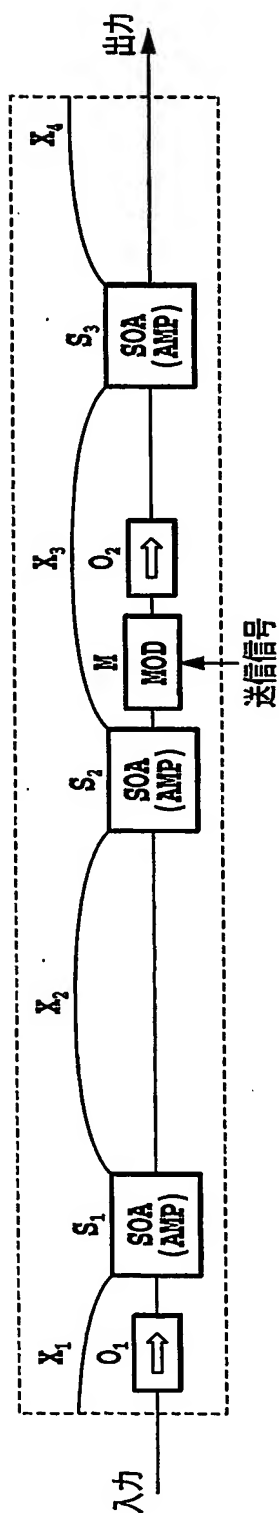
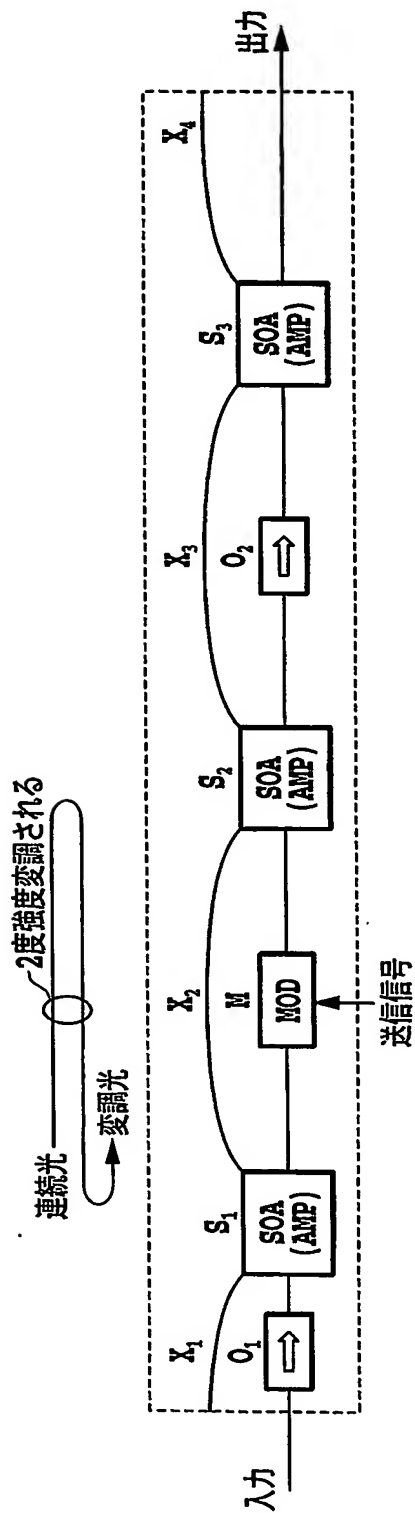


FIG.11C

12/16



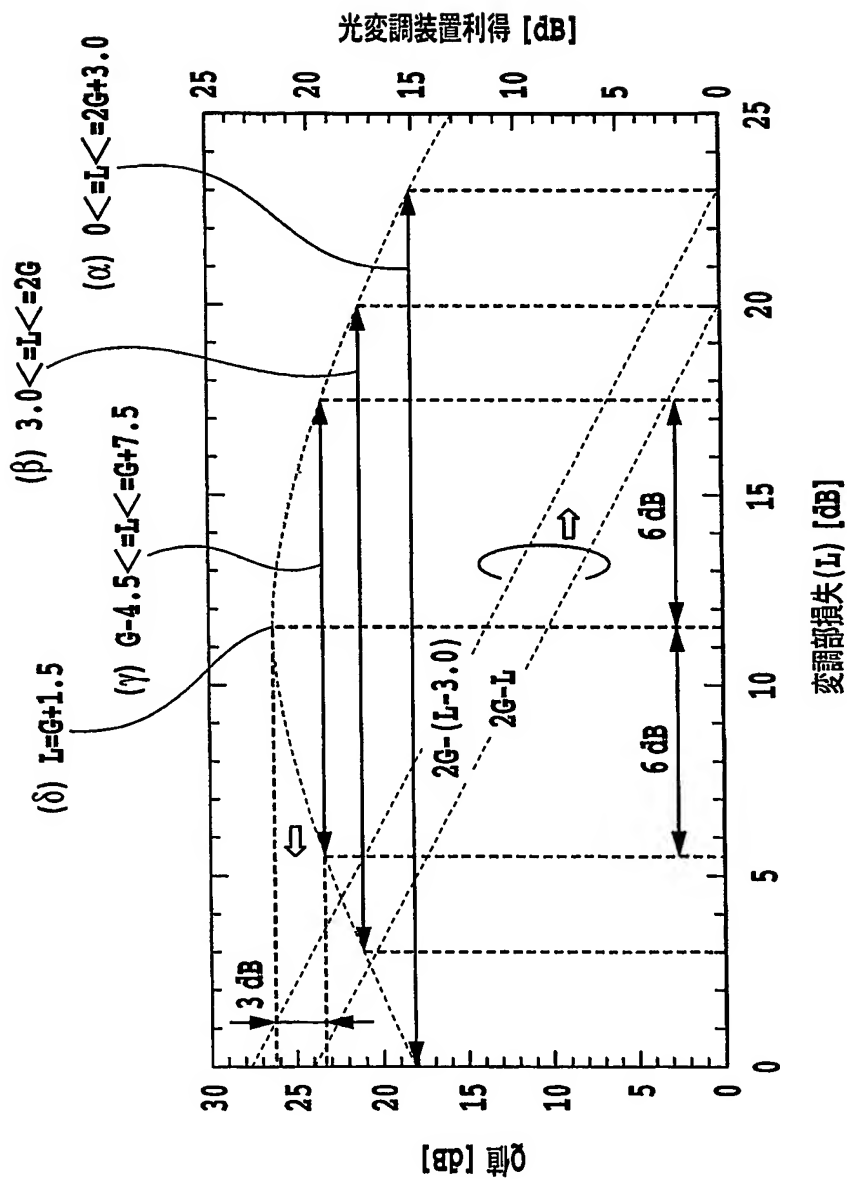


FIG.13

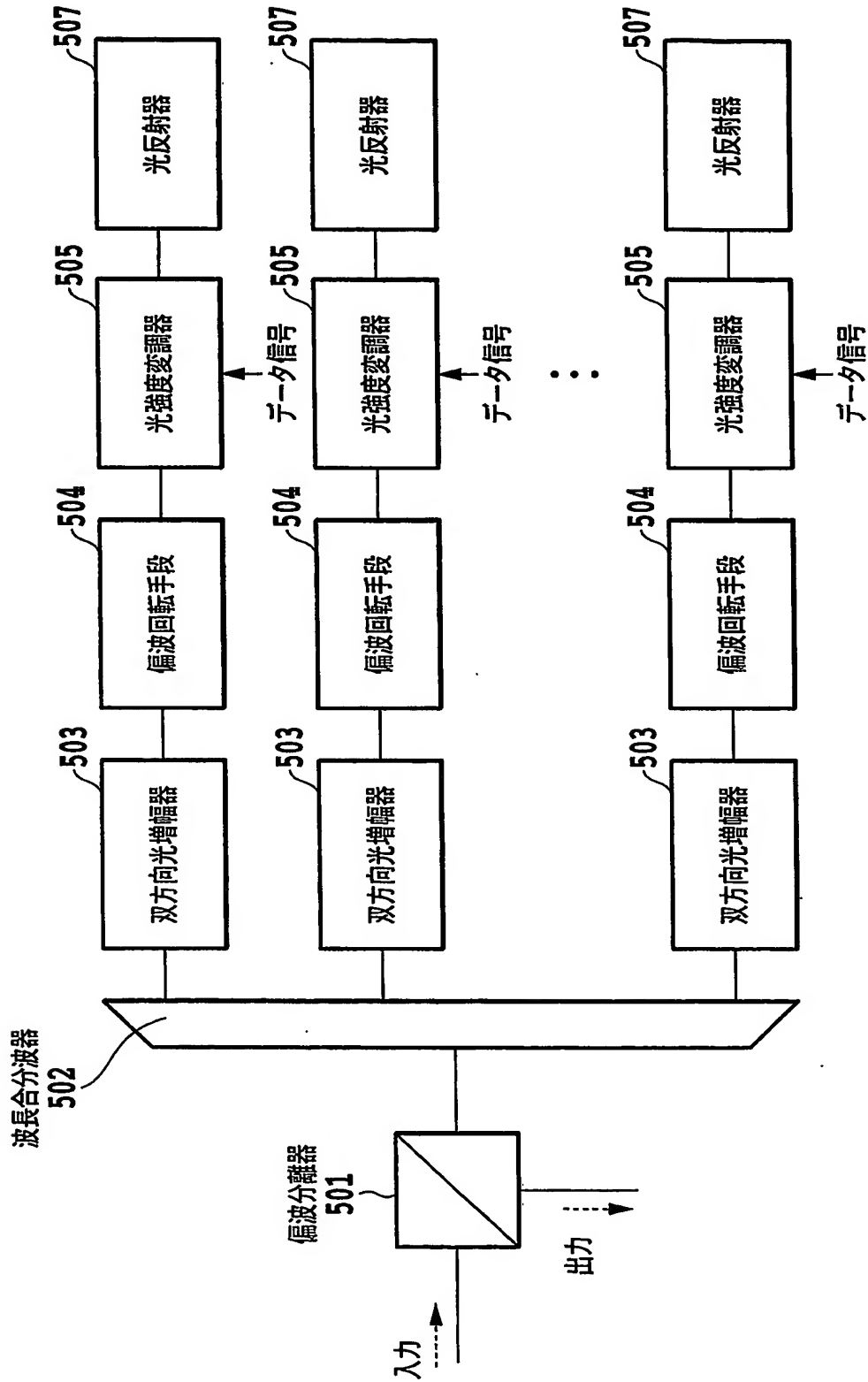


FIG.14



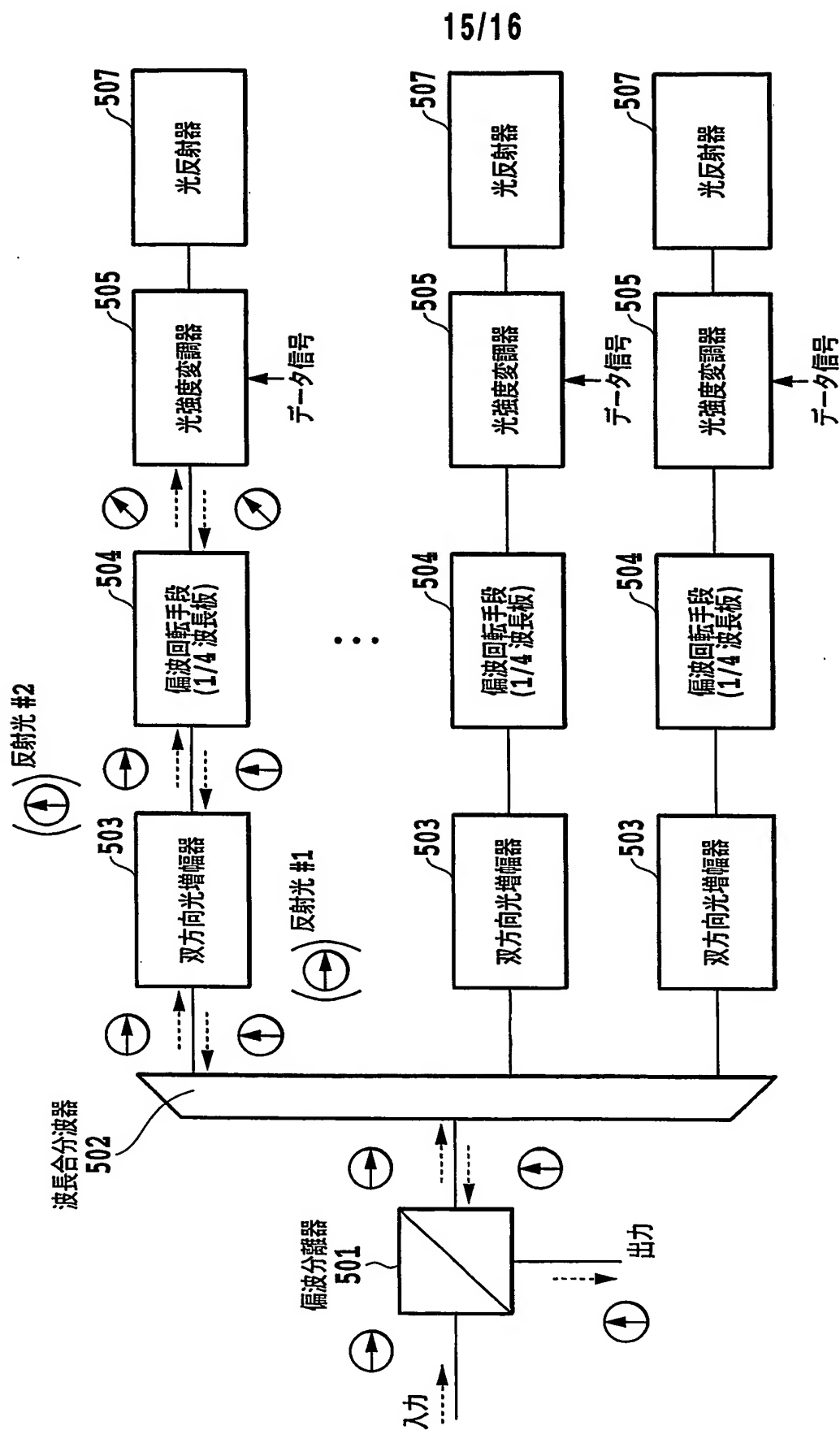


FIG.15

16/16

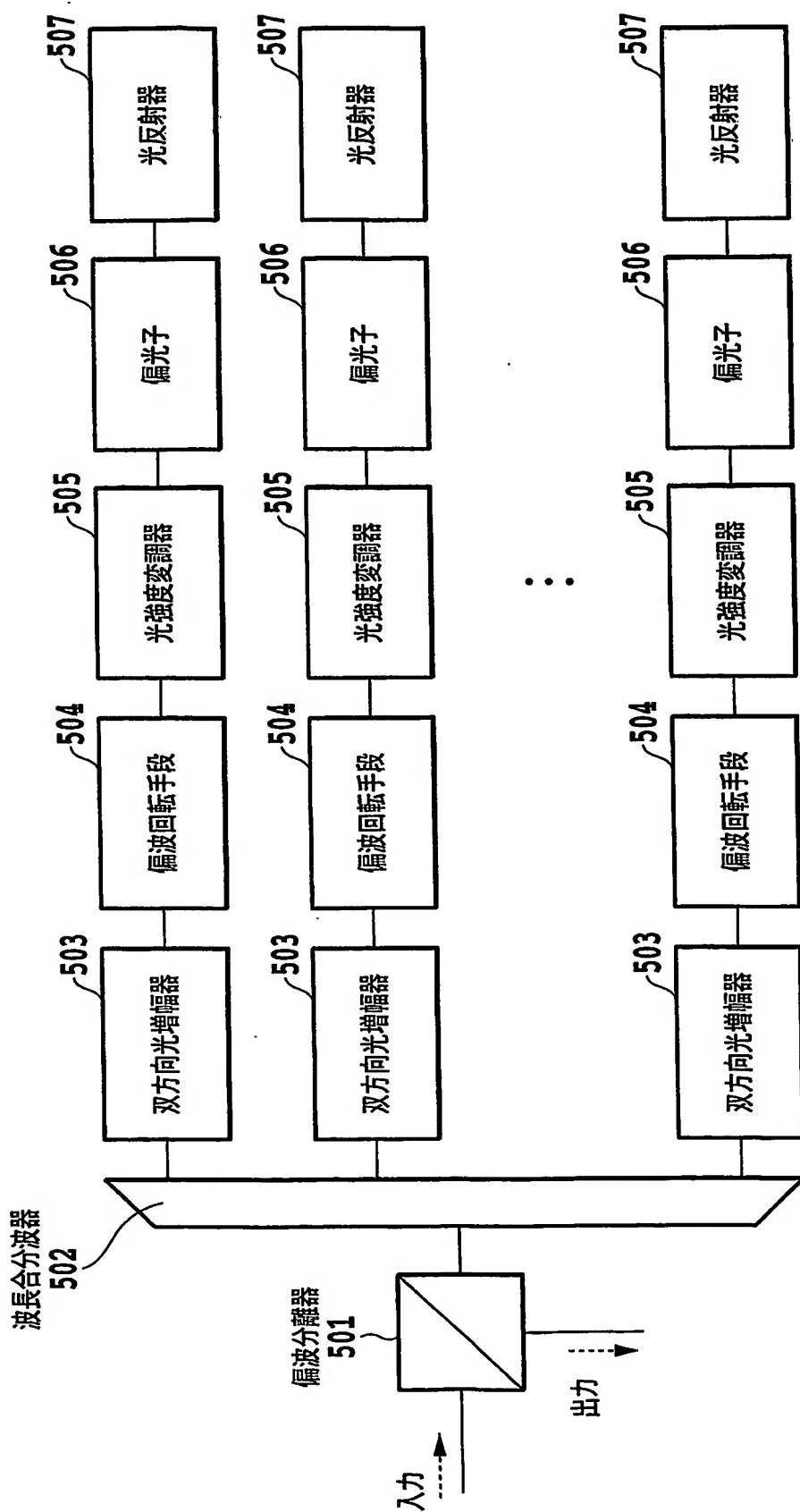


FIG.16

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/008762

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> G02F1/01

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> G02F1/01

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JOIS

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CA 2389974 A1 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.), 13 December, 2002 (13.12.02), & EP 1267510 A2 & US 2002/0191904 A1 & JP 2003-069502 A	1-14
A	JP 2002-318374 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 31 October, 2002 (31.10.02), (Family: none)	1-14

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
27 August, 2004 (27.08.04)

Date of mailing of the international search report  
14 September, 2004 (14.09.04)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2004/008762

**Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)**

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
2. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
  
3. ☐ Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

**Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)**

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

(See extra sheet.)

1. ☒ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

**Remark on Protest**

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- ☒ No protest accompanied the payment of additional search fees.

Continuation of Box No. III of continuation of first sheet (2)

I. Claims 1 to 7 relate to optical modulating device having bidirectional light amplifying means, light intensity modulating means, and light returning means for returning the light intensity-modulated by the light-intensity modulating means to the light-intensity modulating means again or directly returning the light to the bidirectional light amplifying means.

II. Claims 8 and 9 relate to an optical modulating device having bidirectional light amplifying means, light-intensity modulating means, and light returning means for returning the single-wavelength light passing through the light-intensity modulating means to the light-intensity modulating means again, in which polarized-wave rotation means for rotating the polarized-wave face of the single-wavelength light is set between the bidirectional light amplifying means and the light-intensity modulating means.

III. Claims 10 to 14 relate to an optical modulating device having a plurality of semiconductor amplifiers, optical isolators, and light-intensity modulating means.

Consequently, the groups of inventions are not regarded as a group of inventions so linked as to form a single general invention concept.

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G02F1/01

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G02F1/01

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報: 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)  
 JOIS

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	CA 2389974 A1 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 2002.12.13 & EP 1267510 A2 & US 2002/0191904 A1 & JP 2003-069502 A	1-14
A	JP 2002-318374 A (日本電信電話株式会社) 2002.10.31, (ファミリーなし)	1-14

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献  
 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

27. 08. 2004

国際調査報告の発送日

14. 9. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
 郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

田部 元史

2X

8708

電話番号 03-3581-1101 内線 3293

## 第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT 17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。  
つまり、
2. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

## 第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるときこの国際調査機関は認めた。

特別ページへ

1. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。  
☒ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。

- I. 請求の範囲 1～7 は、双方向光増幅手段と光強度変調手段と前記光強度変調手段で強度変調された光を再び前記光強度変調手段へ、または直接に前記双方向光増幅手段へ戻す光回帰手段とを具備した光変調装置に関するものである。
- II. 請求の範囲 8～9 は、双方向光増幅手段と光強度変調手段と前記光強度変調手段を透過した単一波長光を再び該光強度変調手段に回帰させる光回帰手段とを備え、前記単一波長光の偏波面を回転させる偏波回転手段を前記双方向光増幅手段と前記光強度変調手段との間に介装した光変調装置に関するものである。
- III. 請求の範囲 10～14 は、複数の半導体増幅器と光アイソレータと光強度変調手段とを具備する光変調装置に関するものである。

そして、これら 3 つの発明群が単一の一般的発明概念を形成するように関連している一群の発明であるとは認められない。